データの取り扱いミスを減らし，
論理設計とレイアウト設計の間の風通しを良くする

OpenAccess技術

——論理構造とレイアウト構造を独立に管理して工程間の相互連携を容易に

井上善雄

デバイスの記事

ここでは，米国Silicon Integration Initiative社（Si2）の傘下にあるOpenAccess Coalition（OAC）が開発・管理するLSI向けデータ管理技術「OpenAccess」について解説する．設計データベースは設計システムの裏方の技術だが，これのよしあしが設計データの取り扱いの容易さや設計ツールの処理速度に影響を与える．OpenAccessはもともとLSIの設計情報を取り扱うために開発されたデータベースだが，製造容易化設計（DFM：design for manufacturability）に対応する基盤技術としても期待が高まっている．（編集部）

LSIの設計を行う際に，各工程でさまざまな設計途上のデータが生成されます（**図1**）．EDAツールが取り扱うデータ・フォーマットは多種多様であり，同じ内容のデータが複数のフォーマットに変換・生成されたまま残っているということもよくあります．

一つの開発プロジェクトに複数の設計者が参加している場合，設計データを受け渡すとき，あるいは設計変更が生じたときに，あらためてデータを生成し直しているケースをよく見かけます．このとき，変換するべきデータ・フォーマットをまちがえたり，あるいは古いデータを使用してしまうといったトラブルがよく起こります．

すぐにまちがいに気づけばよいのですが，たいていの場合は，次工程の検証段階で不ぐあいとして検出されることになります．LSIの大規模化に伴って，どの設計段階でエラーが混入したのか，何が原因で混入したのかの解析にかかる時間が増大しています．また，問題点を修正した後，各工程の設計作業をやり直すのに1～3週間かかることもあります．サインオフ（マスク・データを製造部門に渡す直前の最終検証工程）間近でこのようなエラーが見つかると，LSIの開発スケジュールに致命的な遅延が生じる可能性もあります．

このような設計データにからむトラブルはとても単純な問題ですが，設計現場では頻繁に起こっています．みなさんの職場でも，こうしたトラブルが生じないように，さまざまなくふうがなされていることと思います．

● 有志企業が開発・管理する無償データベース

ここではこうした設計データ管理の基盤技術である「OpenAccess」について解説します．OpenAccessは，LSI設計途上のデータを管理し，また，いくつかの新しい機能を備えた設計データベースです．現在，LSI用の設計データベースとしては，米国Cadence Design Systems社の「CDB」，米国Synopsys社の「Milkyway」，米国Magma

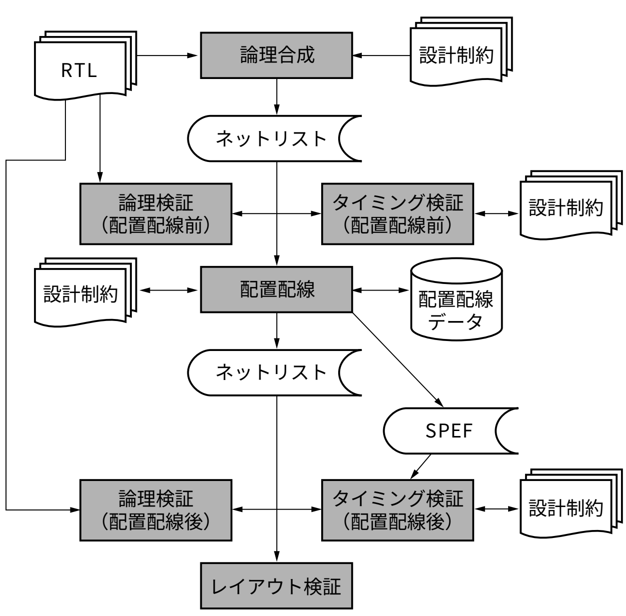


図1　従来のLSI設計フロー
LSIの設計を行う際に，各工程でさまざまな設計途上のデータが生成される．

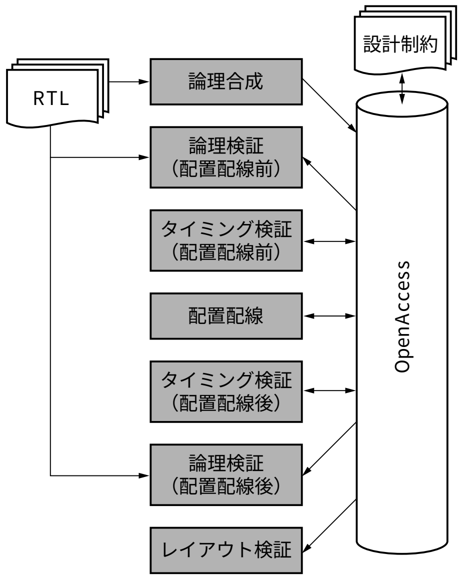


図2　OpenAccess導入後のフロー

本データベースは，LSI設計にかかわるデータを一括管理する．これを導入すると，EDAツールごとにデータ・フォーマットを生成したり，管理する必要がなくなる．

Design Automation社の「Volcano」などが使われています．これらは各EDAベンダが自社のツールのために開発・保守を行ってきました．

一方，本データベースは，米国Silicon Integration Initiative社（Si2；EDAデータ関連の標準化・普及推進活動を行っている業界団体）の傘下にあるOpenAccess Coalition（OAC）によって開発・管理されています．OACの活動には，EDAベンダや半導体メーカ，コンピュータ・メーカなど31社が参加しています（2005年6月現在．日本からは，ルネサス テクノロジと，EDA開発会社であるジーダットが参画している）．

本データベースをLSI設計環境に導入すると，EDAツールごとにデータ・フォーマットを生成したり，管理する必要がなくなります（**図2**）．すなわち，変換すべきデータ・フォーマットをまちがえるといったケアレス・ミスの問題がなくなります．また，異なるEDAベンダのツールや自社開発のツールなどを統合しやすくなります．そのため，LSI設計環境（EDAシステム）の構築がスムーズに行えると期待できます．

EDAベンダが提供するデータベースはそれぞれのEDAベンダがサポートするツールのユーザに対してのみ使用が許可されていますが，本データベースはソース・コードが公開されています．特定のEDAベンダに依存しないオープンな設計データベースと言えます．

● ベンダの思惑に振り回されたデータベースの歴史

EDAベンダが提供する設計データベースのしくみは，米国University of California, Berkeleyが中心となって開発し，1983年に米国SDA Systems社（Cadence社の前身となったベンチャ企業．同社と米国EDAC社が合併してCadence社が誕生した）が採用したシステムに始まります．当時の開発目標は，以下のようなものでした．

- 共通データ・モデルを採用すること
- 共通GUI（graphical user interface）によって，簡単に操作できること
- 設計フローの中にEDAツールを容易に組み込め，すべての操作をデータベース上で行えること
- プログラム言語によって機能を拡張したり，データを操作できること

この設計データベースは，M&A（企業の買収・合併）によって増加していくCadence社のポイント・ツールを統合するためのフレームワークの役割を果たしました．また，この設計データベースは，Skillという言語を使ってカスタマイズすることが可能であり，その柔軟性ゆえに相応の成功を収めました．

その後，Synopsys社（旧Avant！社）やMagma社といった競合ベンダが台頭し，各社は（商業的な理由から）設計データベースの差異化を図るようになりました．その結果，理想からはずれた改良（EDAベンダの思惑に沿った改良）がなされ，本稿の冒頭で指摘したようなデータ管理上のトラブルが発生したり，ユーザの要求に合わせたカスタマイズが行いにくくなってしまいました．

すでにかなり以前から，1社のEDAベンダのツールですべての設計作業を効率良く進めることは難しくなっています．また，特定のEDAベンダに依存しすぎると，そのEDAベンダの事業方針にユーザの設計業務が振り回されることになるというリスクもあります．そこで筆者ら（OAC）は，OpenAccessの開発と普及を推進しています．

OpenAccessは，Cadence社が開発していたレイアウト系データベース「Genesis」のデータ・モデルをベースとしています．Genesisは，RTL（register transfer level）の論理設計データからGDS-IIのマスク・データまでを一括して扱える，階層型合成/配置配線ツール「Integration Ensemble」用に開発された設計データベースです．残念な

がらIntegration Ensembleは正式出荷されませんでしたが，その設計データベースであるGenesisはOpenAccessとなって残り，**表1**のような経緯をたどって発展しました．もともとCadence社によって開発が進められていた本データベースですが，2002年10月以降はOACに管理主体が移りました．

● コードやドキュメントをWeb上で公開

OACの目的は，本データベースをLSI開発における設計データへの標準的なアクセス手段とすることです．設計環境の構築基盤として提供し，最終的にはEDA業界や大学のEDA研究における業界標準データベースにしたいと考えています．そのために，必要な技術とサポートを提供しています．

本データベースは，以下のことを実現できるようにデータ・モデルやリリース・モデル（供給方法）がくふうされています．

- 複数のEDA開発者から提供される設計ツールとデータを組み合わせて，ツールを緊密に統合できる．また，インクリメンタルに（漸進的に）設計フローを構築できる．
- 自社開発ツールとEDAベンダのツールを容易に統合できる．
- 大学の研究成果やコンソーシアムなどの技術移転を容易に行える．
- 複数の企業の間で，設計ツールやデータに関する技術共有を簡単に行える．

具体的には，本データベースを活用するためのC++ APIやデータ・モデル，開発の成果（オブジェクト・コード，ソース・コード），開発ロードマップなどをOACのメンバ企業の間で共有しています．

本データベースに関する公式情報は，以下のサイトから入手できます．

- **http://www.si2.org/** ── Si2のホームページ．本データベースに関する一般的な情報を入手できる．
- **http://OpenEDA.si2.org/** ──本データベースの最新のリリース状況を確認したり，オブジェクト・コードやソース・コードなどをダウンロードできる．
- **http://OpenEDAtools.si2.org/** ── Open Source Initiative（OSI；オープン・ソース文化を啓蒙する非営利組織）のポリシにのっとって開発されたEDAツールが公開されているサイト（現段階では，ここから入手できるツールはまだない）．

本データベースを導入する場合，OACやSi2のメンバでなくてもオブジェクト・コードやソース・コード，ドキュメント類をダウンロードできます．ただし，OpenAccessコミュニティに参加するか，あるいはアクセス範囲が制限されたVisitor Accountでログインする必要があります．詳しくは，http://OpenEDA.si2.org/help/newaccount.phpでアクセス・アカウントの詳細を確認してください．

表1　OpenAccess開発の経緯

年　月	活動内容
2001年6月	OpenAccess Ver. 1として，Cadence Design Systems社がAPI（application program interface）仕様とバイナリ・データを公開
2002年3月	OpenAccess Ver. 2のAPIに関する参考資料がCadence社からOpenAccessコミュニティに提供される
2002年4月	OpenAccess Ver. 2のAPIに関する参考資料をOpenEDA.orgのサイトで公開
2002年6月	OpenAccess Ver. 2のデータベースによる技術開発を促進するための最新バージョンのコードが，Cadence社からOpenAccessコミュニティに提供される
2003年2月	OpenAccess Ver. 2のバイナリ・コードとソース・コードをSi2メンバに対して公開
同上	Golden Gate Working Groupを通じて，OpenAccessとSynopsys社の「Milkyway」の間をつなぐデータ変換ブリッジの構築に着手
2004年6月	OpenAccess Ver. 2.1を一般ユーザに対して公開
2004年10月	OpenAccess Ver. 2.2.0をSi2メンバに対して公開．本バージョンより，APIの上位互換性が保証されるようになった
2005年8月	OpenAccess Ver. 2.2.1を一般ユーザに対して公開する予定

● 公開されたC++ APIを使って自由にカスタマイズ

本データベースの最大の特徴は，ソース・コードが公開されており，APIを利用してユーザが自由にカスタマイズできる点にあります．また，すでに各種のマニュアル（英文）やトランスレータ，スクリプトも用意されています．本データベースをコンピュータにインストールすると，以下のものが利用できるようになります．

- C++ APIとマニュアル
- LEF/DEFインターフェース
- Verilog HDLインターフェース
- SPEFインターフェース
- Streamインターフェース
- Milkywayトランスレータ
- Tcl言語ベースのAPIアクセス環境

このほか，米国LSI Logic社はスクリプト言語の一つであるPythonに本データベースのC++ APIを組み込んだ

「Python4oa」を提供しており，ライセンス条項に同意することでダウンロード，インストールすることができます．

本データベースのC++ APIは，上位互換性を維持しています（Ver. 2.2以降）．また，ユーザ自身によるモデル・プロパティの拡張機能やEMH（Embedded Module Hierarchy）と呼ばれる機能を備えています．とくにEMHはほかの設計データベースにはないユニークな特徴で，大規模LSIを開発する際に非常に有用です．EMHの概要について，以下で説明していきます．

● 論理設計とレイアウト設計の間のトラブルを解消

大規模で高速なLSIを設計するときに論理設計者が感じる不満の一つは，論理機能の設計・検証に集中したいにもかかわらず，レイアウト設計（チップ・インプリメンテーション）の段階になって配線混雑やタイミング制約違反といった不ぐあいが検出され，それを修正するために論理階層やRTL記述を変更しなければならなくなることです．これまで，各種のRTLプランニング・ツール（いわゆるデザイン・プランニング・ツール）が複数のEDAベンダから提供されてきましたが，商業的に成功しているツールはそれほど多くないようです．RTLプランニング・ツールが成功しにくい理由の一つとして，論理設計者向けのツールであるはずなのに，ツールを使いこなすためにレイアウト設計の知識が要求されるという問題があります．このような問題が生じているのは，現在のレイアウト設計ツールのほとんどが，論理階層の構成とレイアウト階層の構成が一致していることを前提に開発されているためです．

このように，論理設計者の立場では，レイアウトの最適化が，自身の作業負荷の増大につながっています．一方，回路が予定したチップ・サイズに収まらないと，最終製品の価格が上昇してしまいますし，動作周波数が目標に到達しないと，製品としての競争力が低下してしまいます．ですから，レイアウト設計者の立場では，レイアウトの最適化の作業で妥協するわけにはいきません．

論理設計者とレイアウト設計者のそれぞれが最大の成果を上げるためには，あらかじめ論理階層とレイアウト階層を同一の構成にして，レイアウト設計ツールが処理しやすい状況を作ってやる必要があるわけですが，これだとEDAツールの能力に合わせて設計のやりかたに制限が生じてし

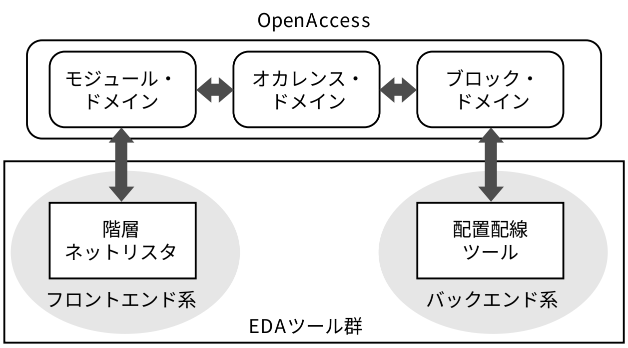


図3　OpenAccess内部ドメインの関係

モジュール・ドメインで論理構造を，ブロック・ドメインでレイアウト構造を，それぞれ独立に管理する．オカレンス・ドメインが両者のデータの関連づけを行う．

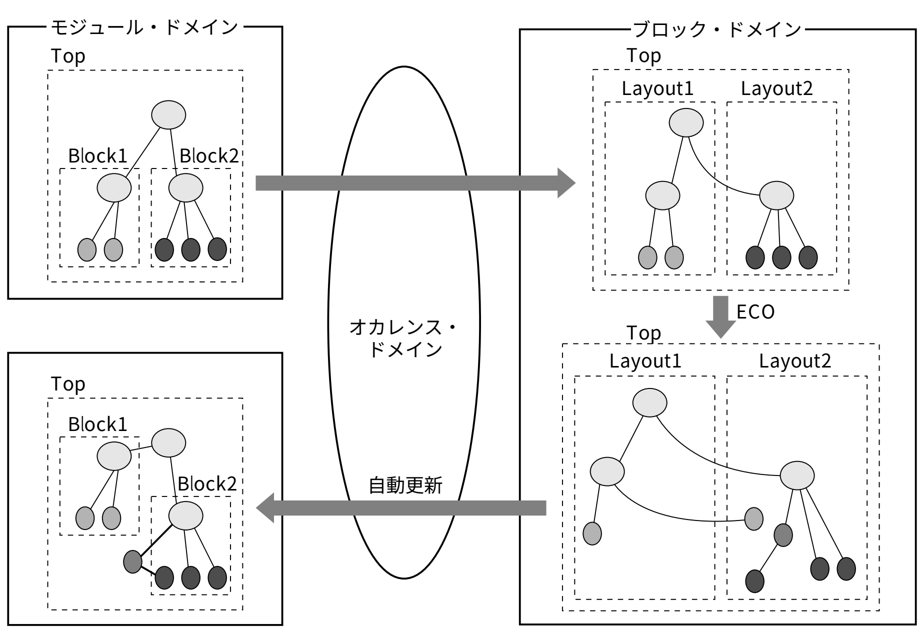


図4
ECO（engineering change order）の例

レイアウト設計でECOが発生すると，その修正はブロック・ドメイン上で行われる．そして，その修正はオカレンス・ドメインを経由して自動的にモジュール・ドメインに反映される．

まうことになり，設計者の側にストレスがたまります．

本データベースのEMH機能は，このような問題を解消するために役立ちます．通常の設計データベースでは，論理構造とレイアウト構造を一つの領域で管理しているため，先に述べた問題が生じます．一方，本データベースのEMH機能では，モジュール・ドメイン，オカレンス・ドメイン，ブロック・ドメインと呼ばれる三つの領域がデータベースの中に用意されています．モジュール・ドメインで論理構造を，ブロック・ドメインでレイアウト構造を，それぞれ独立に管理します．そして，オカレンス・ドメインが両者のデータの関連づけを行います（**図3**）．このような多重構造でデータを管理することにより，論理設計者とレイアウト設計者がそれぞれ異なる階層構造に基づいて設計することができます．

例えば，レイアウト設計でECO（engineering change order）が発生したとすると，その修正はブロック・ドメイン上で行われます．そして，その修正はオカレンス・ドメインを経由して自動的にモジュール・ドメインに反映されます（ただし，Ver. 2.2ではこの機能に制限がある）．通常，ECOの多くはタイミング調整のために行われますが，レイ

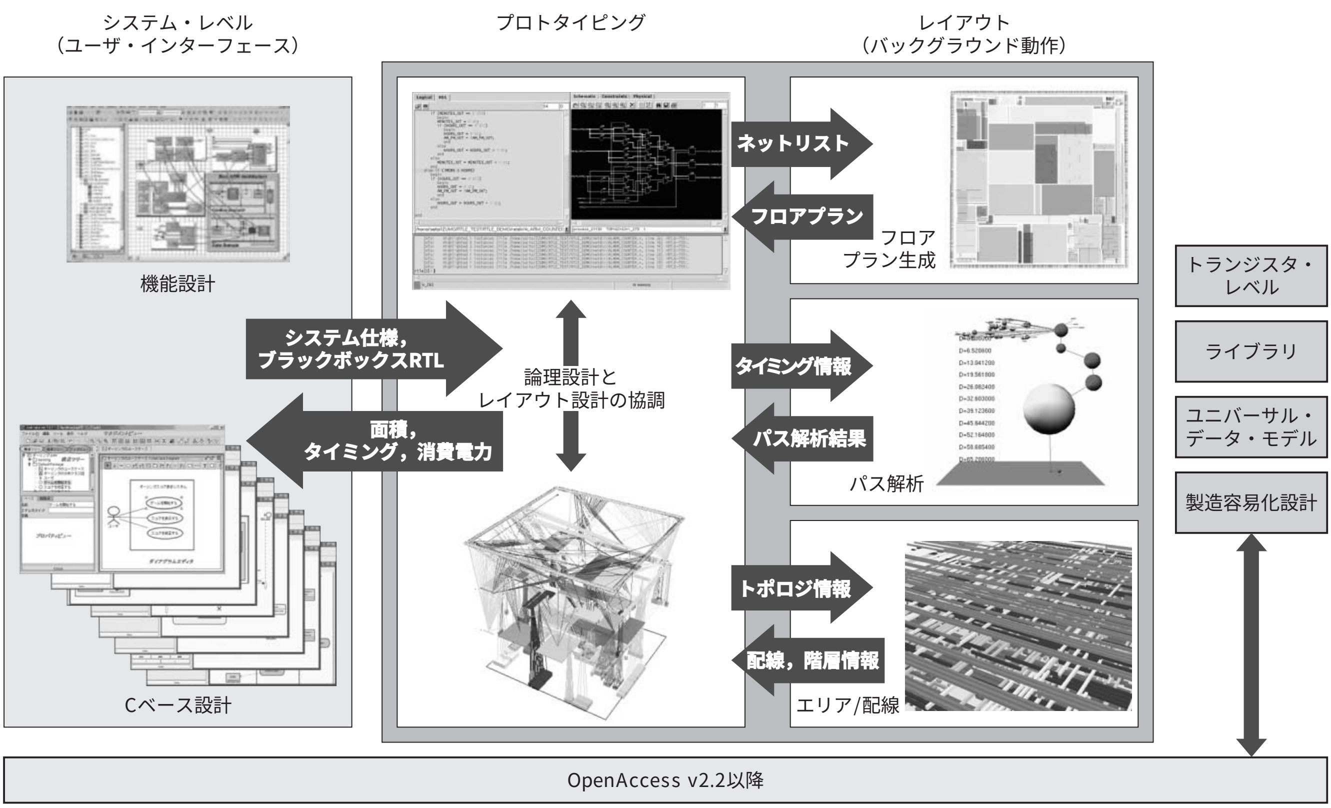


図5　OpenAccessを採用したEDAツールを統合した設計システムのイメージ
システム・レベル設計とレイアウト設計の連携が可能となる．

	インスタンス数	ネット数
Test1	69,864	78,580
Test2	307,370	157,440
Test3	1,017,624	1,024,256

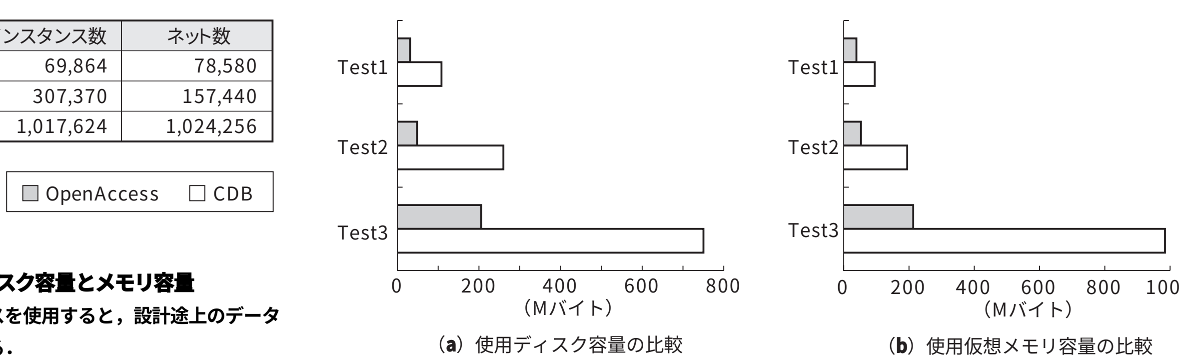


図6
使用するディスク容量とメモリ容量
本データベースを使用すると，設計途上のデータ量を削減できる．

アウト設計の段階で小規模な論理の変更が生じた場合でも，ブロック・ドメインの変更は論理階層を維持したままモジュール・ドメインの論理回路に反映されます(**図4**)．これにより，フォーマル・ベリフィケーション(形式的検証)ツールによる等価性検証などの作業が効率良く行えます．

EMH機能を活用すると，これまでにないRTLプランニング・ツールの開発も可能になると期待されます．**図5**は，現在，本データベースを採用しているEDAベンダのツールを組み合わせて構築したEDAシステムのイメージです(実際に構築したわけではないが，構築が可能な構成の例である)．本データベースを基幹のデータ・インターフェースとして利用すると，システム・レベル設計者(例えばCベース設計を行う設計者)とレイアウト設計者の間の協調作業すら可能となるのです．

● データベース生成時間は1/20，データ量は1/5

本データベースを導入する利点として，設計途上のデータ量を削減できること，および設計データへのアクセス速度を高速化できることが挙げられます(**図6**)．

筆者らの調査では，150万ゲートの論理回路と52のRAMマクロを含む設計において，データベース生成時間が1/20に，データ・サイズが1/5に(workディスクのサイズを含めると1/10に)低減することがわかりました．

● 用途に合わせて実行モードを選択する必要がある

本データベースには上述のような利点がありますが，実際の設計業務で利用する場合には，実行モードの組み合わせに注意する必要があります．本データベースでは，論理階層情報の保持方法の違い(EMH，noEMH)，およびディスク保存時のディレクトリ構造の違い(oaFileSys，oaTurbo)によって，合計4種類のモードがあります．

EMHモードでは，本データベースの中に階層構造全体の情報を格納します．例えばVerilog HDLの場合，top(最上位階層)モジュールから階層構造をたどることが可能となります．一方，noEMHモードでは階層構造の情報がなく，各モジュールが独立して格納されるため，topモジュールから階層構造をたどることはできません(**図7**)．

oaFileSysモードでは，モジュールごとにディレクトリを作成してデータを保存します．一方，oaTurboモードでは一つのディレクトリの下にすべてのデータを保存します．

例えば，大規模なシステムLSIの設計ではEMHとoaTurboの組み合わせを，スタンダード・セル(セル・ベースIC)のライブラリ・データについてはnoEMHとoaFileSysの組み合わせを使用します．各モードの長所，短所を考慮して使い分けていく必要があります(**表2**)．

表2　実行モードによる違い

通常，ディレクトリ生成はOSのコマンドの中でも時間のかかる操作である．そのため，noEMHモードは大規模LSI設計には不向きだが，ライブラリ管理やIPデータの管理には効果的と言える．

(**a**) 生成ディレクトリ数

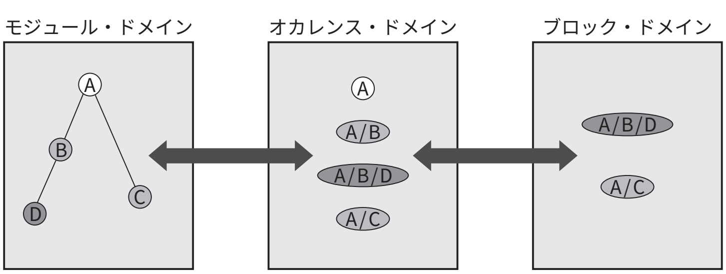
	EMH	noEMH
oaFileSys	3	3×モジュール数
oaTurbo	1	1

(**b**) 生成ファイル数

	EMH	noEMH
oaFileSys	1	モジュール数
oaTurbo	1	モジュール数

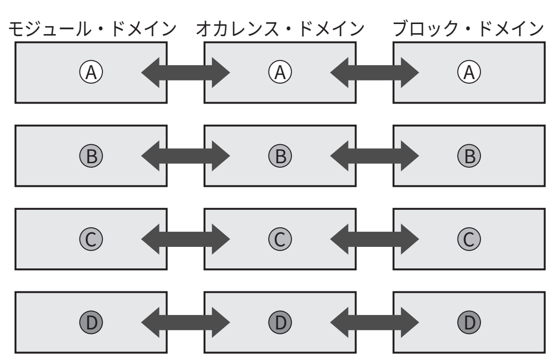
● ルネサスが採用，スクリプト言語で拡張可能に

図8は，筆者ら(ルネサス テクノロジ)が本データベー



設計のトップ階層は一つ

(**a**) EMHモード



モジュールの数だけ，設計のトップ階層が存在する

(**b**) noEMHモード

図7　EMHモード，noEMHモードと設計階層の関係

EMH，noEMHそれぞれへの変換には，C^{++} APIの`merge`，`de-touch`を利用する．

スを利用して構築しているシステムLSI用設計システム（REAP v2）の模式図です．大規模なシステムLSIを多数開発している筆者らにとっては，設計システムについて，つねにその時点で最良のツールを導入し，相互接続性を維持し，かつツールのプラグイン/プラグアウトを容易に行えることが理想です．そのため，EDAツールへのインターフェースに本データベースを採用しました（日立製作所，三菱電機2社の半導体部門の統合を受けて，統一された設計システムを新たに構築しなければならなくなったという，筆者ら特有の事情もある）．

本データベースに対応していないEDAツールについては，必要なときに必要なデータを生成して本データベースに受け渡す構成にしました．また，EDAベンダのツールも自社開発のツールも，ともに同じルールに基づいて統合できるように，oaTCLという拡張Tcl言語を利用してツールと本データベースの間のインターフェース（プラグ，ソケット）を開発しています（**図9**）．各ツールは，このプラグとソケットを介して本データベースとデータをやり取りします．プラグとソケットをOpenAccessの規定どおりに作成しておけば，新規のツールとこれまでのツールを容易に入れ替えられます．

さらに筆者らは，C++ APIを活用して独自のC++クラス関数群を作成し，Pythonスクリプトの拡張組み込み関数としています（下掲のコラム「C++ APIとスクリプト言語」を参照）．例えば設計者は，拡張組み込み関数をPythonの中で呼び出すことで，独自のDRC（design rule check）のルールを記述することが可能となります．つまり，各設計工程の要求に応じて容易にDRCのルールをカスタマイズできるのです（もちろん，設計者がPythonを使えるようになる必要はあるが…）．

● さまざまな機能拡張が予定されている

2005年4月に米国カリフォルニア州San Joseで開催された6th OpenAccess Conferenceでは，10社のEDAベンダが実際に本データベースを活用したツールを紹介するプレゼンテーションを行い，また7社がデモンストレーション・システムを展示しました．Si2への参加企業の増加とともに，OpenAccessコミュニティは急速に拡大しています．また，多くのスタートアップのEDAベンダが本データベースの採用を検討しています．

Column　C++ APIとスクリプト言語

井上善雄

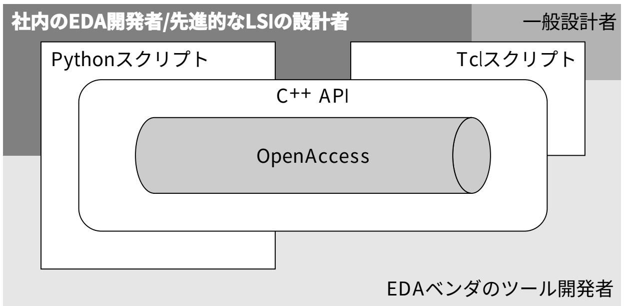
OpenAccessデータベースは，C++ APIを標準でサポートしています．C++ APIをサポートすることで，本データベースのユーザ（例えば，EDAベンダ）は独自にプログラミングを行い，本データベースの機能を拡張できます．ただし，一般のLSI設計者がC++を用いてプログラムを開発することは，容易ではありません．

一方，多くのEDAツールでは，ユーザが機能拡張に利用できるインターフェースとしてTclインタープリタを採用しています．また，最近では，Tclスクリプト言語を使いこなす設計者も増えています．

そこで，本データベースでもTclインターフェースが用意されています．これは，標準で公開されているC++ APIのほとんどを拡張プロシージャ群「oaTCL」としてTclインタープリタに組み込んだものです．自分に合った環境を構築できるように，EDA開発者だけでなく，LSI設計者の方々にも利用していただきたいと考えています．

ただし，言語仕様上の理由から，C++で作成されたAPIをTclインタープリタで100％利用することはできません．C++のようなオブジェクト指向言語の利点をフルに活用するためには，組み込む先のインタープリタにもオブジェクト指向を採用したスクリプト言語を用いる必要があります．

そこで，最近，注目を浴びているのが「Python」や「Ruby」といったスクリプト言語です．本データベースについては，LSI Logic社がPythonインタープリタに対してOpenAccessのC++ APIをフルに組み込んだPython4oaを提供しています．米国ではPythonが普及しており，OpenAccessコミュニティの間でもPythonのサポートは歓迎されています（**図A-1**）．



図A-1　C++ APIとスクリプト言語の使い分け

本データベースを採用しているEDAベンダの多くは，LSI設計者向けにはTcl言語を，EDA開発者向けにはPythonをサポートするデュアル・スクリプト環境を取り入れています．筆者は本データベースの普及とともに，PythonがTclの次のEDA用標準スクリプト言語になるかもしれないと考えています．

いのうえ・よしお　（株）ルネサス テクノロジ

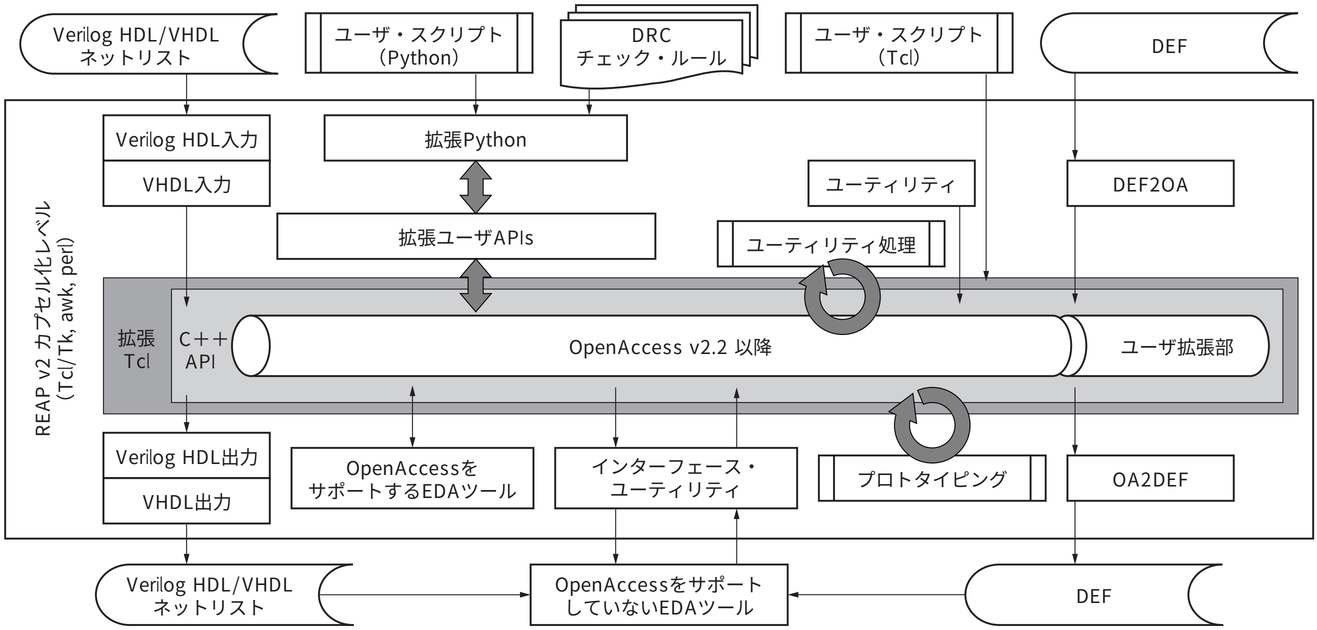


図8　ルネサス テクノロジによる設計システムの構築例
本データベースを利用して構築しているシステムLSI用設計システム(REAP v2)の模式図を示した.

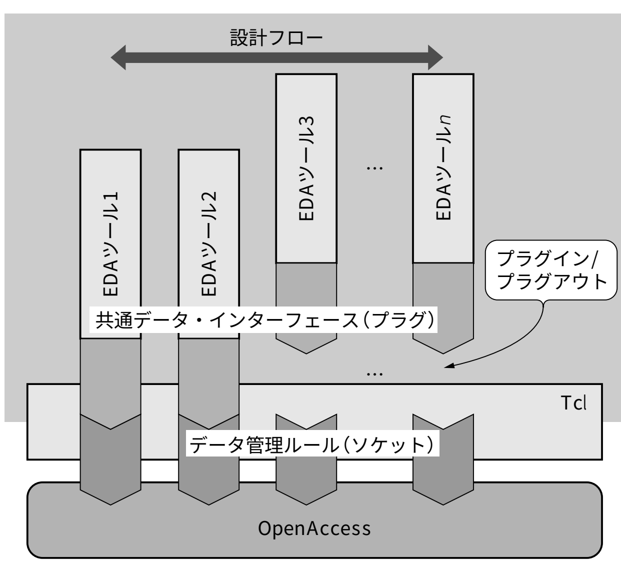


図9　プラグとソケット
各EDAツールは，プラグとソケットを介して本データベースとデータをやり取りする．プラグとソケットをOpenAccessの規定どおりに作成しておけば，新規のツールとこれまでのツールを容易に入れ替えられる．

本データベースの機能拡張として，RTLデータの直接読み込み，設計制約データへの対応，IPベース設計への対応が進められています．また，タイミングや機能，消費電力のモデリング，マルチスレッドへの対応，ユニバーサル・データ・モデル(UDM：universal data model)への対応などが計画されています(右掲のコラム「設計と製造の間の壁を取り払うOpenAccess技術」を参照)．

最近では，独自性を出すために設計データベースのデータ構造に特徴を持たせるEDAベンダも出てきています．とくに論理合成ツールやレイアウト設計ツールなど，大容量のデータを扱うツールを持つベンダほど，独自のデータ構造を模索するところが多いようです．本データベースでは，ユーザがプロパティ(属性)を拡張できるようになっています．そのため，OpenAccessという皮を被った多くの派生データベースが生まれる可能性も出てきています．

本データベースが相互接続性を維持していくためには，ユーザから出される拡張・改善要求を，OACがいかに迅速に取り入れていくかがポイントとなります．また，(Si2に参加していない企業も含めて)OpenAccessコミュニティのメンバが積極的に，OACに対して拡張・改善要求を示していくことが重要だと思います．

いのうえ・よしお
(株)ルネサス テクノロジ 製品技術本部 設計技術統括部
EDAシステム開発部部長

<筆者プロフィール>
井上善雄．1984年，東京電機大学工学部 電気通信工学科卒業後，三菱電機にてASIC設計に従事．1990年よりEDA設計システム開発に従事し，北米サーバ・システム用ハイエンド向けのEDA技術開発の実績を持つ．2003年からはルネサス テクノロジにてRTLプロトタイピングの開発などに従事．

Column 設計と製造の間の壁も取り払うOpenAccess技術

Steven E. Schulz

最近，製造容易化設計（DFM：design for manufacturability）の話題があちらこちらで取り上げられています．ここ数年間の動向から，半導体業界が今後も継続的に収益を上げ続けるためには，従来の方式と決別し，これまで設計と製造の二つの分野に分かれていた世界を一つにすることがとても重要であると認識するに至っています．

最近の調査によると，DFM手法に対する考えかたが，今後12ヵ月以内に変わっていくことを，半導体メーカやそのユーザ企業の大半が予想しています．しかし，「（設計と製造の間の）壁を取り払う」ことが必要である，という認識は持っているものの，具体的な解決策に至る道筋はまだ明確になっていません．DFMの定義でさえ，半導体設計・製造の一連の流れ（サプライ・チェーン）のどの部分に焦点を当てるかによって，その解釈はさまざまです．

● DFMの課題に関する議論が活発に

2004年9月，Silicon Integration Initiative社（Si2）はDFMに関するインターネット会議を開催しました．このバーチャルな会議には，業界をリードする30人近くの専門家が参加しました．テーマはDFMに関する主要な課題と事業機会についての洞察を深め，明確にすることでした．この数ヵ月前にSi2の委託によって行われたDFMに関する業界動向調査の結果が，議論の中で参照されました．参加者はDFMについての見識を深め，業界が注目するそれぞれの分野に的を絞って考えることができました．

半導体業界が抱えている重要な課題は，製造歩留まり，設計・製造データの準備や前処理にかかる時間，マスク製造や検査の時間，量産立ち上げまでの期間，および総製造原価などの改善です．技術的に見れば設計と製造の緊密なデータ統合を実現することが第1の解決法ですが，事業面での確固たる優位を得るためには，それと同時に現在の事業のやりかたや組織構造も，DFMの考えかたに合わせて変える必要があります．

幸いなことに，例えば機密性の高いLSIの製造データを設計会社に渡す際に選択的に暗号化を行うなど，すでに実用化されている技術を利用していくつかの問題を解決することができます．会議に参加したメンバの間では，ファウンドリ企業がプロセス・データを共有することを渋ったり，現在の事業のやりかたを変更することを嫌ったりすれば，ファブレスの事業モデルそのものが脅かされるとまで考えていました．

90nmプロセスより前の時代は，静的な（固定的な数値で示される）設計ルールさえあれば，製造容易性と歩留まりを管理するのに十分でした．しかし，90nmや65nmのDFMの時代には，動的で設計の意図を考慮したトレードオフの検討が必要となります．そのために，ソフトウェア・ツールと製造機器が共通に使用できるデータのセマンティクスやデータ・アクセスのメカニズムを共通化することが求められます．こうした要求は2002年ごろからSEMI（Semiconductor Equipment and Materials International；半導体や液晶の製造装置，および材料などの業界団体）のData Path Task Forceのメンバ企業によって認識されており，ここから「ユニバーサル・データ・モデル（UDM）」という構想が生まれました．

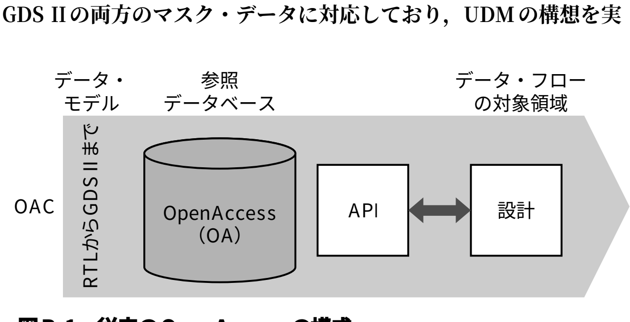
SEMIのData Path Task Forceは，マスク・データであるGDS IIの代わりとなるOASISファイル・フォーマットを定義した団体です．彼らは，シーケンシャルなストリーム・データではインクリメンタルな更新処理（データの差分を検出し，これを利用してデータの一部だけを更新する処理）に際して直接的なデータの読み出し/書き込みが不可能なこと，さまざまなアプリケーション・ソフトウェアやツールの間でファイルを何度も変換すると極度に処理効率が低下し，時間と費用を浪費してしまうことを認識しました．さらに重要なことは，設計の意図が製造装置にきちんと伝わらなければ，スマートで効率的な製造を行う機会が制限されてしまうことです．同じように，EDAソフトウェアが製造に関する知識を活用しないと，設計上の多くの決断が「盲目的に（後工程の製造に関する要件を無視して）」下されることになってしまいます．

● OpenAccessをDFMの基盤技術に

では，半導体業界はどのようにしてUDMの構想を実現していけばよいのでしょうか．

このためには，LSIの設計情報と製造情報が共通のセマンティクスを持つデータ・モデルを採用すること，一貫性のあるデータ・アクセスを保証する高度なソフトウェアAPIインターフェースが提供されること，および今後のプロセス・ノードにおいて新たに生じる要求に柔軟に対処できる拡張性が用意されることなどが必要になります．また，こうした今後の方針の定義を（特定の企業ではなく）業界のコミュニティによる管理下で行うことにより，半導体業界全体の信頼を得る必要があります．ただし，以上の条件をすべて満足したとしても，データベース・ソフトウェアにデータ・モデルとAPIをユーザが一から実現しなければならないとしたら，そのような方法を採用する企業は存在しないでしょう．

幸いなことに，この問題に対応可能な標準インフラとして，OpenAccessが存在しています（**図B-1**）．OpenAccess標準については，製品レベルの品質をもつリファレンス・ソフトウェアとともに，ソース・コードとバイナリ・コードをSi2のホームページから入手できます．OpenAccessは，OpenAccess Coalition（OAC）のメンバ企業が所有し，Si2が普及促進を行っているC++をベースとした技術です．OpenAccessにはカスタマイズのための独自の拡張モデルが用意されており，すでに30社を超えるEDAベンダが本データベースに対応した製品を開発済み，または開発中です．OpenAccessはOASISとGDS IIの両方のマスク・データに対応しており，UDMの構想を実



図B-1　従来のOpenAccessの構成

現する基盤として理想的な技術であるとSEMIのData Path Task Forceも認めています．

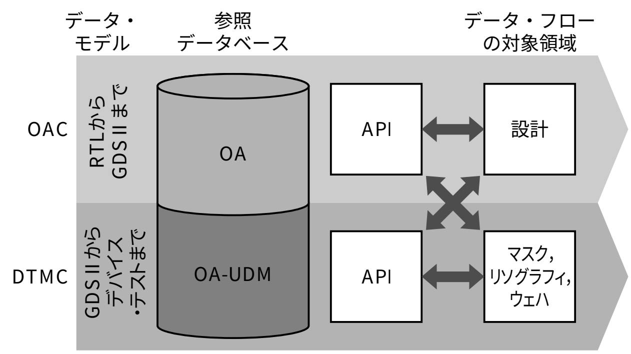
このような認識に基づいて，SEMIとSi2は，互いの強みを生かしながら共通のニーズに対応するため，戦略的な提携契約を結びました．両組織のメンバ企業は，独自仕様のインターフェース・フォーマットを採用するのではなく，各社の真価によって勝負できる事業環境を実現するために，世界中の半導体設計・製造フロー（サプライ・チェーン）のあらゆる工程に対応できる共通の標準規格を定義することが重要であると理解しています．

両組織が協力することにより，LSI設計者，EDAベンダ，機器メーカ，マスク・メーカ，およびファウンドリ企業といった各分野の知識が集約され，さまざまな課題に関するトレードオフ評価の手間が減ります．処理の効率化が可能となり，時間，コスト，歩留まりを劇的に改善できる可能性が出てきます．これほど大きな課題を解決するために必要な視野や検討内容の深み，相互接続性の要件を満たすことは，一企業の努力，あるいは特定の製品の採用だけではとうてい不可能でしょう．

2004年，Si2はSEMIの支援を得て，Design To Manufacturing Coalition（DTMC，議長は米国Applied Materials社）という新しい組織を作りました．DTMCでは，フォトマスクやウェハの量産立ち上げ期間を短縮し，歩留まりを改善して，結果的にLSIの製造コストの低減と製造期間の短縮を図ることをねらっています．この組織が技術上目指しているのは，設計面でのトレードオフがマスク製造やウェハ品質に与える影響を理解すること，そして歩留まりやコストをベースとした最適化や検査を行うにあたって設計意図を理解することです．

DTMCのメンバ企業にとっての最優先事項は，コストをベースにした効率的なRET（Resolution Enhancement Technology）を促進すること，フォトマスク工程の効率を上げてよけいなマスク修正と検査の回数を減らすこと，設計やIPブロックが複数の製造ラインで利用できることを保証するため，ファブ（製造ライン）やプロセスに固有のリソグラフィ検証を実現すること，そしてOPC（optical proximity correction；光近接効果補正）処理とマスク・データの前処理の間で発生するデータ・アクセスや変換のオーバヘッドを最小限に抑えることです．

DTMCのメンバ企業は，目標を達成するために二つの側面から活動を行っています．第一の側面は「教育」です．コンファレンスやワー



図B-2　ユニバーサル・データ・モデル（UDM）に対応したOpen Accessの構成

クショップを主催して，分野間の知識交流を実現することにより，メンバ企業と業界の双方がUDM構想についていっそう明確に理解できるように努めています．第二の側面は「調査」です．数多くのベンチマーク・テストを行い，企業や業界の壁を越えて共有することで最大の利益を得ることのできるデータを公開します．参加メンバ企業によって行われるこれらのテストの結果は，大手の総合半導体メーカ（IDM），EDAベンダ，機器メーカといったDTMCメンバ企業によって共有され，評価されます．OpenAccessは，そのほかの必要な標準規格とともに，評価用のシステムを迅速に試作し，製造期間やチップの性能，マスク歩留まり，および費用見積もりを比較・定量化するための尺度（メトリックス）を定義するために用いられます（**図B-2**）．

産業界における標準化の目標は，自由市場の競争を阻害することではなく，むしろそれを促進することです．OACとDTMCのメンバ企業は，半導体業界の健全な未来を脅かす障害を取り除こうと努めています．Si2のメンバ企業78社は，設計・製造フローにかかわる企業が参加する現実的なアプローチを取りながら，既存のオープンで柔軟な技術を活用することにより，互いに協力して半導体の設計と製造における重要な課題に取り組み，将来にわたって健全な産業を支援していきたいと考えています．

Steven E. Schulz
米国Si2 President and CEO